



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 196 37 563 A 1

⑤ Int. Cl.⁶:
G 02 B 5/00
G 02 B 27/00
G 02 B 27/28

②1 Aktenzeichen: 196 37 563.0
②2 Anmeldetag: 14. 9. 96
②3 Offenlegungstag: 19. 3. 98

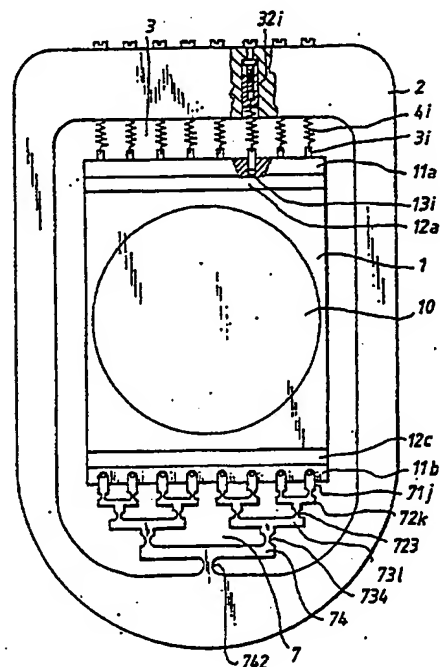
DE 196 37 563 A 1

⑦1 Anmelder:
Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

⑦2 Erfinder:
Schuster, Karl Heinz, 89551 Königsbronn, DE

⑤4 Doppelbrechende Planplattenanordnung und DUV-Viertelwellenplatte

⑤7 Eine DUV-taugliche Viertelwellenplatte oder ähnliches wird als Planplatte unter Spannungsdoppelbrechung ausgeführt. Die Planplatte (1) aus hochwertigem Quarzglas wird durch geeignete Konstruktionen mit mehreren parallelen Zugvorrichtungen (3, 7) torsionsfrei und gleichmäßig, bzw. gezielt lokal eingestellt, auf Zug beansprucht.



DE 196 37 563 A 1

Die Erfindung betrifft eine doppelbrechende Planplattenanordnung mit Spannungsdoppelbrechung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine dementsprechende DUV-taugliche Viertelwellenlängenplatte nach Anspruch 16.

Phasenverzögerungsplatten können heute für den sichtbaren Spektralbereich etwa bis zu einem Durchmesser von 300 mm, in ausgezeichneter Verzögerungstoleranz $\pm 5\%$ für $\lambda/4$ und mit sehr gutem optischem Durchgang hergestellt werden. Dazu wird gereckte Polyvinylalkohol-Folie zwischen optischen Scheiben verkittet. Leider sind diese Folien bei der Projektions-Mikrolithographie mit DUV-Licht, zum Beispiel der Wellenlänge 193 nm, nicht anwendbar, da weder Kitt noch Folie der Strahlungsbelastung gewachsen sind.

Die in Frage kommenden doppelbrechenden kristallinen Materialien sind SiO_2 und MgF_2 . Benötigt man Lambdaviertel-Platten mit einem Durchmesser von etwa 200 mm, so wird es für SiO_2 sehr unwahrscheinlich, geeignetes Material zu bekommen. Ideal ist eine Verzögerungsplatte einfacher Dicke. Dabei errechnet sich die Dicke nach der Formel:

$d = (k \cdot \lambda) / \Delta n$. Die resultierenden Plattendicken sind für SiO_2 und MgF_2 fast gleich. Für Quarzkristall ist bei 193 nm die Differenz der Brechzahlen $\Delta n = 0,0135$, damit resultiert eine Plattendicke $d = 3,57 \mu\text{m}$. Dies ist schon sehr wenig. Obwohl Quarz sehr gut ansprengbar ist, sollte wenigstens eine dreifache Dicke angestrebt werden, um mit $10 \mu\text{m}$ eine gewisse mechanische Stabilität zu erreichen. Diese Dicke ist aber wegen der optischen Störung des Objektivs nicht akzeptabel.

Eine Viertelwellenplatte für 633 nm Wellenlänge aus Quarz mit dem Durchmesser 150 mm und ca. $16 \mu\text{m}$ Dicke hat Carl Zeiss Oberkochen schon hergestellt.

Das eigentliche Problem besteht in der Verfügbarkeit des SiO_2 in der benötigten Größe. Synthetischer Kristall erreicht zwar als Platte die Größe, jedoch liegt die Kristallachse senkrecht zur Plattenebene und nicht wie gefordert in Plattenebene. Die Wachstumsgeschwindigkeiten bei der Kristallzüchtung sind deutlich unterschiedlich, insbesondere in Richtung der Kristallachse am langsamsten. Synthetische Stücke mit einer Abmessung in Richtung der Kristallachse größer als 100 mm sind aus damit zusammenhängenden Gründen nicht bekannt.

Natürliche Quarzkristalle können in Einzelfällen die geforderte Größe erreichen. Damit läßt sich aber keine gesicherte Produktion erreichen, da alle bekannten natürlichen Lagerstätten ausgeräumt sind.

Die Alternative zum Quarz ist synthetisch hergestelltes MgF_2 . Allerdings gibt es auch hier Probleme bei der Züchtung von derart großen Stücken, da MgF_2 unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten für die unterschiedlichen Richtungen im Kristall besitzt. Große Kristalle müssen thermisch sehr behutsam gefahren werden, damit sie nicht platzen. Erschwerend kommt hinzu, daß MgF_2 nicht ansprengbar ist. Bei der Bearbeitung müßte also über Kitt gearbeitet werden. Später müßte eine wenige Mikrometer dicke Platte zwischen zwei Quarzglasplatten mit Immersion im optischen Kontakt gehalten werden.

Bei Δn von MgF_2 bei 193 nm gleich 0,0136 beträgt die einfache Plattendicke für MgF_2 $3,54 \mu\text{m}$.

Die optische Phasenverzögerung kann auch durch Drücken oder Dehnen eines zunächst isotropen Materi-

als erreicht werden, dadurch wird Spannungsdoppelbrechung erzeugt. Es kommen nur für DUV, insbesondere für 193 nm, durchlässige und für den geforderten Durchmesser verfügbare Materialien in Betracht. Da die Strahlungsbelastung aufgrund des großen Durchmessers reduziert ist, kann auch Quarzglas eingesetzt werden.

Die Frage, ob Druck oder Zug, ist zugunsten von Zug zu beantworten: Bei Druck könnte sich die Platte verbiegen, was in einem Projektionsobjektiv völlig unbrauchbar ist. Bei Zug wird die Ebenheit und damit der optische Durchgang verbessert.

Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung einer Anordnung, mit der eine Spannungsdoppelbrechung aufweisende dünne Planplatte beträchtlicher Ausmaße bereitgestellt wird, die als DUV-Viertelwellenplatte für Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen Verwendung finden kann. Dazu ist eine großflächig homogene Zugspannung in der Planplatte zu erreichen.

Die Lösung dieser Aufgabe gelingt durch eine doppelbrechende Planplattenanordnung nach Anspruch 1 bzw. durch die Viertelwellenplatte nach Anspruch 16.

Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche 2–15.

Durch diese Fassungstechnik gelingt es erstmals, eine großflächige DUV-taugliche Lambdaviertelplatte mit Spannungsdoppelbrechung zu realisieren.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1 die schematische Gesamtansicht einer erfindungsgemäßen Planplattenanordnung;

Fig. 2 einen Ausschnitt mit einer formschlüssigen Krafteinleitung in die Planplatte.

Die Anordnung der Fig. 1 zeigt zunächst als Hauptbestandteil eine Planplatte 1 aus Quarzglas hoher Güte und UV-Beständigkeit mit den Abmessungen von typisch $220 \times 280 \times 10 \text{ mm}^3$ (Breite \times Höhe \times Dicke). In dem kreisförmigen Querschnitt 10 von ca. 200 bis 210 mm Durchmesser wird sie von UV-Licht, insbesondere eines Excimer-Lasers mit unter 250 nm Wellenlänge, z. B. eines ArF-Lasers mit 193 nm, durchstrahlt. Die Anwendung erfolgt zum Beispiel im Projektionsobjektiv einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage. Bedarf besteht besonders bei katadioptrischen Systemen mit Strahlteilerwürfel, wie z. B. in DE 196 16 922.4 und den dort zitierten Schriften beschrieben.

Die Planplatte 1 ist feinoptisch planpoliert und mit Entspiegelungsschichten vergütet. Diese Planplatte 1 bildet aufgrund der Spannungsdoppelbrechung eine Viertelwellenplatte (Lambda-Viertel-Platte) bei einer Zugspannung von 1,36 N/mm. (Bei 5 mm Plattendicke 2,72 N/mm). Diese Zugspannung muß von den Zugvorrichtungen 3, 7 mit hoher Gleichmäßigkeit und ohne Biegemomente in die Planplatte 1 eingebracht werden, damit die benötigte Wirkung im ganzen Querschnitt 10 gleichmäßig und ungestört realisiert wird.

Die Zugvorrichtung 3 im oberen und die Zugvorrichtung 7 im unteren Teil der Fig. 1 zeigen Beispiele, wie diese gleichmäßige Zugspannung von dem steifen Spannrahmen 2 in die Planplatte 1 eingebracht werden kann.

Zwischen dem nutzbaren Querschnitt 10 und den Ansatzbereichen 11a und 11b oben und unten sind jeweils Querbalken 12a bis 12d aus dem gleichen Quarzglas mit einem Format von zum Beispiel $220 \times 30 \times 15 \text{ mm}^3$ (Breite \times Höhe \times Dicke) beidseitig angesprengt oder angekittet. Diese Versteifungen bewirken eine Gleichverteilung der Zugspannung von den zahlreichen, doch

aber diskreten Ansatzpunkten der Zugvorrichtungen 3, 7 auf die Planplatte 1 im Bereich zwischen den Querbal-
ken 12a bis 12d (Vermeidung des "Vorhang"-Effekts).

Die obere Zugvorrichtung 3 hat stirnseitige Bohrungen 12i in der Planplatte 1 (z. B. 5 mm Durchmesser, 10 mm Tiefe, 10 mm Abstand). Darin sind Stifte 13i aus Invar — das Material verträgt sich hinsichtlich der Wärmeausdehnung besonders gut mit Quarzglas — mit UV-beständigem Kitt eingeklebt. Alternativ ist auch eine Lötung, z. B. mit vorangehender Metallisierung des Quarzglases durch Vakuumbeschichten oder Elektrolyse, möglich. Zum Schutz einer Klebung gegen das aggressive UV-Licht, das durch Streuung auch unvermeidlich in kleinen Bruchteilen die Verankerungen 12i, 13i erreicht, kann z. B. Ruß als Absorber dem Kitt untergemischt sein.

Die freien Enden der Stifte 13i tragen Ösen, in die Schrauben-Zugfedern 3i eingehängt sind. Mit dem zweiten Ende sind diese Federn 3i in längsverstellbare Lagerböcke 32i eingehängt, die im Spannrahmen 2 fest gelagert sind. Durch Justage der längsverstellbaren Lagerböcke 32i wird die gleichmäßige Spannung in der Planplatte 1 eingestellt. Dazu werden die Spannungen im Quarzglas interferometrisch ausgewertet.

Natürlich kann diese Zugvorrichtung 3 beidseitig zwischen Planplatte 1 und Spannrahmen 2 angeordnet werden.

Im Beispiel wird an der Unterseite jedoch eine andere Variante einer Zugvorrichtung 7 gezeigt. Der Ausschnitt der Fig. 2 verdeutlicht dazu in Querschnittsdarstellung die formschlüssige torsionsfreie Krafteinleitung in die Planplatte 1. Hierzu trägt die Planplatte eine Vielzahl von Querbohrungen 15j in gleichmäßigem Abstand (z. B. Durchmesser 10 mm, Abstand 10 mm).

Beim Herstellen der Bohrungen 15j ist darauf zu achten, daß diese nicht ausfransen. Deshalb werden beim Bohren oberhalb und unterhalb der Bohrstelle, bzw. auf beiden Seiten der Platte 1, verlorene Hilfsstücke aufgekittet. So werden unnötige Risse und Ausmuschelungen, die die Sicherheit des Bauteils herabsetzen, vermieden. Danach erfolgt erst die feinoptische Bearbeitung der Planflächen. Weiterhin ist es vorteilhaft, die Teile in Flußsäure zu ätzen, um Risse auszuätzen. Auch Tempern verbessert die Reißempfindlichkeit.

In die Bohrungen 15j sind ballig geformte Bolzen 6j, z. B. aus gehärtetem Stahl oder aus Invar, gesteckt. Vorzugsweise ist eine dünne Hülse 61j aus weichem duktilem Material, z. B. Kupfer oder Zinn, zwischengelegt. So ist eine formschlüssige, torsionsfreie Verbindung der Planplatte 1 mit den Bolzen 6j erzielt, bei der überhöhte lokale Belastungen durch die Hülse 61j vermieden werden.

An diese Bolzen 6j greift die Zugvorrichtung 7 an. Zunächst sind die Bolzen 6j beidseitig in einem Joch 71j aufgenommen. Das Joch 71j ist über ein Federgelenk 712j mit einem Ausgleichsbalken 72k verbunden. Mit mehreren parallel und in Serie geschalteten Ausgleichsbalken 72k, 731, 74 mit Federgelenken 723, 734, 742 ist ein Ausgleichsheelgetriebe gebildet, welches für gleichmäßige Zugbelastung aller Bolzen 6j sorgt. Die Federgelenke 712j, 723, 734, 742 sind weich gegen Torsion und Biegung in der Zeichenebene von Fig. 1 und senkrecht dazu ausgebildet, so daß keine Biegemomente auf die Planplatte 1 übertragen werden. Über das Federgelenk 742 ist die Zugvorrichtung 7 mit dem Spannrahmen 2 verbunden. Die Herstellung des Ausgleichsheelgetriebes in der dargestellten Form gelingt z. B. mit Funkenerosion, Wasserstrahlschneiden oder

Laserbearbeitung. Natürlich ist die Anzahl der Bohrungen 15j und damit der Hebel und Gelenke in der Praxis größer (10^1 bis 10^2 Stück) als in der schematischen Zeichnung Fig. 1 und 2.

Statt der dargestellten Federgelenke kommen auch Kugelgelenke in Frage oder mehrteilige Federgelenkkonstruktionen. Zur Justage kann die Steifigkeit der Ausgleichsbalken 72k, 731, 74 und Federgelenke 723, 734, 742 durch Materialabtrag z. B. mit Laser gezielt verändert werden.

Auch diese Zugvorrichtung kann beidseitig vorgesehen werden, sie kann aber auch z. B. mit den Zugfedern oder den eingeklebten Stiften der Zugvorrichtung 3 kombiniert werden. Genauso können die Federn der Zugvorrichtung 3 über Joche und Bolzen an Querbohrungen der Planplatte 1 angreifen.

Alternative Verbindungen der Quarzplatte zu Metallteilen der Zugvorrichtung können in Klebtechnik auch eine Verzinkung, speziell eine Keilverzinkung, vorsehen, wobei das Metallteil dann in eine Vielzahl gegeneinander beweglicher Glieder, vorzugsweise mit Federgelenken, aufgelöst ist. Die Form des Quarzglasteils berücksichtigt dabei stets genügend ausgebildete Rundungen, um Kerbwirkungen in dem spröden Material zu vermeiden.

Formschlüssige Verbindungen können dabei auch als Schwalbenschwanzverzinkungen ausgebildet sein, mit in Dickenrichtung angeordneten Stegen oder einem in Breitenrichtung verlaufenden Steg. Auch Verkeilungen sind möglich.

Die metallischen Teile sind ebenfalls vierteilig ausgeführt, um eine gute Passung und gleichmäßige torsionsfreie Zugbelastung zu sichern.

Alle Grenzflächen zwischen Quarzglas und Metall wie auch zwischen relativ beweglichen Metallteilen können mit Schichten oder Einlagen aus weichem Metall oder PTFE zur Lastverteilung und Reibungsminde-
rung optimiert werden.

Gezielt kann die Spannungsverteilung in der Planplatte auch gering von der Homogenität abweichen und insbesondere ein Querprofil aufweisen, wenn die lokale Zugspannung entsprechend einreguliert wird. Damit können z. B. Inhomogenitäten der Polarisation des durchtretenden Lichtbündels, verursacht z. B. durch Restfehler des Polteilerwürfels bei einem katadioptrischen Objektiv, ausgeglichen werden.

Zusätzlich zur Zugspannung eingebrachte Druckkräfte quer dazu können die Spannungsdoppelbrechung erhöhen, ohne daß die Belastungsgrenze des Quarzglases überschritten wird. Durch die dominierende Zugspannung ist dann das Durchbiegen unter Druck vermieden.

Abweichungen der Planplatte von der Idealform — hierzu gehört die Querkontraktion unter Zug, die eine Zylinderlinsenwirkung verursacht, und die meniskenartige Durchbiegung unter der Schwerkraft bei horizontaler Einbaulage — können durch Vorhalt in der Fertigung mit geeignet gebogenen Flächen kompensiert werden. Die Durchbiegung unter Schwerkraft kann auch durch geeignete Auflager außerhalb des optisch genutzten Querschnitts 10 gemindert werden.

Patentansprüche

1. Doppelbrechende Planplattenanordnung mit Spannungsdoppelbrechung, dadurch gekennzeichnet, daß an zwei gegenüberliegenden Seiten der Planplatte (1) mehrere parallele Zugvorrichtungen

gen (3, 7) angreifen.

2. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach Anspruch 1 mit einem optisch nutzbaren Mittelbereich (10) und zwei Kuppelbereichen (11a, 11b), an denen die Zugvorrichtungen (3, 7) angreifen, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen optisch nutzbarem Mittelbereich (10) und den zwei Kuppelbereichen (11a, 11b) jeweils ein Querbalken (12a—d) kraftschlüssig mit der Planplatte (1) verbunden ist.

3. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Zugvorrichtungen (3) Zugfedern (3i) enthalten.

4. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zugvorrichtungen (7) mit einem Ausgleichshebelgetriebe (71, 73, 74) verbunden sind.

5. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1—4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zugvorrichtungen (7) kittfrei mit der Planplatte (1) verbunden sind.

6. Doppelbrechende Planplattenanordnung (1), welche an den gegenüberliegenden Seiten eine Mehrzahl paralleler Querbohrungen (15j) aufweist, in die ballig geformte Bolzen (6j) eingreifen, welche in Jochen (71j) gelagert sind, die wiederum torsionsfrei in der Ebene der Planplatte (1) auf Zug beansprucht gelagert sind.

7. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Bolzen (6j) einen harten Kern und eine plastisch verformbare Hülse (61j) aufweisen.

8. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Querbalken (12a—d) angesprengt sind.

9. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1—8, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser des optisch nutzbaren Mittelbereichs (10) größer als 180 mm ist.

10. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1—9, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Planplatte etwa 5—15 mm beträgt.

11. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgleichshebelgetriebe (72, 73, 74) mit Federgelenken (723, 734, 742) aufgebaut ist.

12. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgleichshebelgetriebe (72, 73, 74) für eine Seite einstückig ausgebildet ist.

13. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1—12, dadurch gekennzeichnet, daß die Planplatte (1) unter der angelegten Zugspannung eine Viertelwellenlängenplatte für die Betriebswellenlänge im Ultraviolett ist.

14. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach mindesten einem der Ansprüche 1—13, dadurch gekennzeichnet, daß die Planplatte (1) aus Glas, insbesondere aus Quarzglas, besteht.

15. Doppelbrechende Planplattenanordnung nach mindesten einem der Ansprüche 1—14, dadurch gekennzeichnet, daß die Planplatte (1) im tiefen Ultraviolett unterhalb 250 nm, besonders auch im Bereich 200 nm bis 150 nm transparent und strahlungstabil ist.

16. Im tiefen Ultraviolett unterhalb 250 nm transpa-

rente Viertelwellenlängenplatte aus einer Glas-Planplatte (1), die unter gleichmäßiger Zugspannung stehend gefaßt ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 2

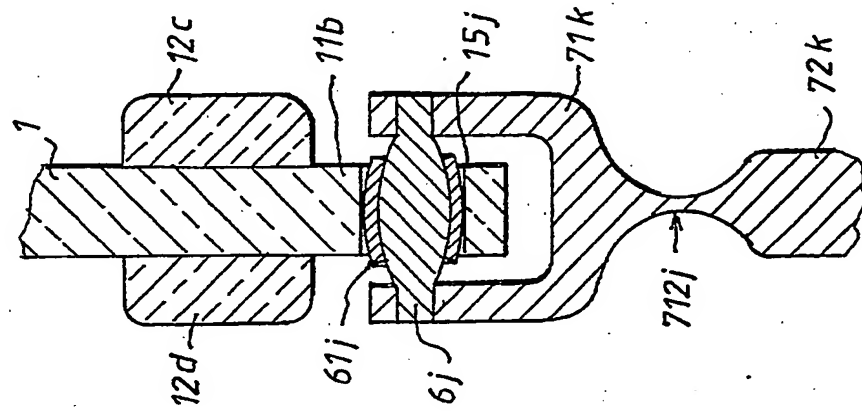


FIG. 1

